



インプラント周囲骨内応力解析における材料特性の不均質性に関する検討

著者	中村 武仁
号	41
学位授与機関	Tohoku University
学位授与番号	歯博第689号
URL	http://hdl.handle.net/10097/58272

氏 名（本籍）： ^{なか}中 ^{むら}村 ^{たけ}武 ^{ひと}仁

学 位 の 種 類： 博 士 （ 歯 学 ）

学 位 記 番 号： 歯 博 第 6 8 9 号

学位授与年月日： 平 成 2 6 年 9 月 2 4 日

学位授与の要件： 学位規則第4条第1項該当

研究科・専攻： 東北大学大学院歯学研究科（博士課程）歯科学専攻

学 位 論 文 題 目： インプラント周囲骨内応力解析における材料特性の不均質性に関する検討

論文審査委員：（主査）教授 菊 池 雅 彦

教授 佐々木 啓 一

教授 服 部 佳 功

論 文 内 容 要 旨

近年、欠損歯科補綴においてインプラントの適用症例は著しい増加の傾向にある。このような状況下において、歯科インプラント臨床における良好な長期経過のためにはインプラント体および周囲支持骨における負荷の制御が重要であり、生体内におけるインプラント機能時の力学挙動の解明の必要性が認識されている。

そこで本研究においては、生体内の力学挙動をシミュレーションする手法として広く用いられている有限要素解析、以下FEAにおける多値化手法の検証を行った。従来のFEA手法では、顎骨を皮質骨と海綿骨の2種類の構造物としてモデル化する二値化モデル上で解析を行っていた。しかしながら、生体における顎骨の骨密度は部位特異的で個体差が大きく、内部には骨梁構造が存在する。そこで本研究では被験者CTデータから得られる骨密度分布を用いることにより、被験者の顎骨の材料特性の不均質性を再現したFEAモデル、すなわち多値化モデルを新たに作成し、従来の二値化モデルとの比較検討を行った。

本研究の被験者は東北大学病院にてインプラント治療を受けた62歳の女性である。上顎に総義歯、下顎にインプラント支持型の義歯を装着している。本研究においてはCTデータから下顎骨領域を抽出し、従来型の手法に準じた二値化モデルおよび多値化モデルの2種類のモデル構築を行った。多値化モデルにおいては、有限要素モデル内の各要素にCT画像の輝度値に基づいた材料定数を与えて、材料特性の不均質性を再現した。4面体一次要素を用いてメッシュ作成を行い、メッシュサイズは1～3mmの範囲とした。FEAソフトウェア（Mechanical Finder, RCCM, Japan）上で線形弾性解析を行い、応力コンター図、応力ヒストグラム、相当応力最大値、平均値、最頻値の分析指標を用いて比較検討を行った。

顎骨の不均質性を再現した多値化モデルは、海綿骨領域に広範な応力負担が見られ、応力最大値が

減少し、応力平均値が増加していた。

これに対して、従来型の二値化モデルは皮質骨領域に応力が集中する傾向があり応力最大値が増加し、応力平均値が減少していた。

すなわち、二値化モデルは応力分布が皮質骨領域と海綿骨領域で大きく異なり、局所的に大きな応力が発生してしまう傾向があることが明らかになった。一方で、多値化モデルは皮質骨領域と海綿骨領域ともに応力の発生が見られ、多相的な応力分布を示す傾向があることが明らかになった。これは、顎骨の骨密度分布に基づき不均質性を再現したことにより、皮質骨および海綿骨内での応力伝達が見られたことが要因として考えられる。

これらの結果は骨密度分布をもとに材料特性の不均質性を再現した多値化手法の有効性を示している。

審査結果要旨

歯の欠損を補綴するためのインプラント治療は近年、急速に普及しており、極めて有効な治療法であることが示されている。しかしながら、インプラントを長期的に顎骨内で維持し、安定した咀嚼機能を発揮させるためには、インプラント体および周囲支持骨への荷重を適切に制御する必要があることから、生体内におけるインプラント機能時の力学挙動の検討が重要と考えられている。

本研究では、有限要素解析（FEA）の手法を用いて生体内のインプラントの力学挙動をシミュレートする際に、顎骨の不均質性を考慮することの有用性を明らかにすることを目的に行われている。従来のFEA手法では、顎骨を皮質骨と海綿骨の2種類の構造物としてモデル化する二値化モデルで解析がなされてきたが、生体における顎骨は連続性を有しながら、骨密度は部位特異的で個体差が大きく、海綿骨領域は骨梁構造にて構成されなど、複雑な構造を呈しているため、二値化モデルによる解析は信頼性に疑問があった。本研究では、被験者のCTデータから得られた骨密度分布を利用することで、被験者の顎骨の不均質性を再現した多値化モデルを新たに作成し、従来の二値化モデルとの比較を行っている。

はじめにCTデータから下顎骨領域を抽出するときのCT画像の閾値設定（輝度値）の影響について分析を行い、二値化モデルを構築する際の適切な輝度値を求めている。次にFEAモデル内の各要素にCT画像の輝度値に基づいた材料定数を与えて骨密度の不均質性を再現した多値化モデルを作成した。FEAソフトウェア上で線形弾性解析を行い、応力コンター図、応力ヒストグラム、相当応力最大値、平均値、最頻値の分析指標により2つのモデルの比較検討を行っている。

その結果、従来型の二値化モデルでは皮質骨領域に応力が集中する傾向があったのに対し、多値化モデルでは海綿骨領域に広範な応力の分散がみられ、応力最大値が減少し、応力平均値が増加することが分かった。すなわち、二値化モデルでは皮質骨領域と海綿骨領域で応力分布が大きく異なり、局所に応力が集中する傾向があるが、多値化モデルでは皮質骨領域と海綿骨領域に応力が分散され多相性の応力分布を示すことが明らかになった。これは顎骨の骨密度分布に基づき不均質性を再現させたことにより、皮質骨領域と海綿骨領域での応力伝達があったことが要因と考えられる。これらの結果は骨密度の不均質性を再現した多値化モデルの有用性を示唆するものと考えられる。

本研究から得られたこれらの知見は、インプラント埋入時の重要な指針となるものであり、今後の歯科インプラントの臨床と研究に大きく寄与すると考えられる。よって、本論文は博士（歯学）の学位に相応しい論文と判断する。